
**Vorrichtung und Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische
Energie**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie durch Entspannung eines dampfförmigen Arbeitsmittels durch eine mit einem Verdampfer verbundene Entspannungsvorrichtung.

Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von Vorrichtungen sowie Verfahren zur Gewinnung von mechanischer Energie bekannt. Es sind beispielsweise Wärmekraftanlagen

- 2 -

bekannt, in denen in einem Kessel ein Arbeitsmittel, z.B. Wasserdampf bei einem hohen Druck isobar bis zum Siedepunkt erwärmt wird, verdampft und anschließend in einem Überhitzer noch überhitzt wird. Der Dampf wird anschließend in einer Turbine unter Verrichtung von Arbeit adiabatisch entspannt und in einem Kondensator unter Wärmeabgabe verflüssigt. Die Flüssigkeit wird von einer Speisewasserpumpe auf einen Druck gebracht und wieder in den Kessel gefördert. Einer der Nachteile dieser Vorrichtungen ist, dass bei diesen Entspannungsprozessen mit Wasserdampf in Turbinen hohe Temperaturen für Drücke von über 15 bar bis 200 bar erzeugt werden müssen, um wirtschaftliche Wirkungsgrade zu erreichen, da bei Turbinen das Druckverhältnis bei der Entspannung die wesentliche Einflussgröße ist.

Ein weiteres Merkmal der bekannten Entspannungsprozesse zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie ist, dass die bei der Kondensation des Arbeitsmittels anfallende Kondensationsabwärme verfahrensbedingt für den Entspannungsprozess selbst nachteiligerweise als Verlustwärme anfällt, wodurch der Wirkungsgrad negativ beeinflusst wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie zu schaffen, die die genannten Nachteile vermeiden, insbesondere einen verbesserten Wirkungsgrad, insbesondere bei geringen Temperatur- und Druckniveaus, aufweist.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 vorgeschlagen. In den abhängigen Ansprüchen sind bevorzugte Weiterbildungen ausgeführt.

Dazu ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Entspannung in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung erfolgt und die im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel enthaltene Energie in den Verdampfer rückführbar ist, die zur Verdampfung zusätzlichen

- 3 -

Arbeitsmittels nutzbar ist. Vorzugsweise weist das Verfahren eine erste Komponente des Arbeitsmittels auf, das durch ein Gemisch gebildet ist, in und/oder nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung mittels eines Absorptionsmittels absorbiert wird, wobei Wärme auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente übergeht, die rückführbar ist. In einer Ausführungsform der Erfindung ist das Gemisch bei einem bestimmten Mischungsverhältnis der Komponenten ein Azeotrop mit Siedepunktminimum. Bei azeotrop verdampfenden Gemischen mit Siedepunktminimum lassen sich je nach Typ die Verdampfungstemperaturen absenken, so dass diese unter den Kondensationstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen. Wird aus dem Dampfgemisch adiabatisch die erste Komponente absorbiert, so geht die entsprechende Wärme auf die dampfförmig verbleibende zweite Komponente über. Der Entzug der Kondensationswärme kann dadurch auf einem erhöhten Temperaturniveau erfolgen. Insbesondere kann bei geeignet ausgewählten Azeotropmischungen die zweite dampfförmige Komponente im Verdampfer des Arbeitsmittels selbst unter Abgabe der Kondensationswärme kondensiert werden, so dass der entsprechende Anteil der Wärmeenergie in den Prozess zurückgeführt werden kann. Sofern die zu absorbierende erste Komponente Wasser ist, kann als Absorptionsmittel beispielsweise eine alkalische Silikatlösung eingesetzt werden.

Das Arbeitsmittel, beispielsweise ein azeotropes Gemisch aus Wasser und Perchloräthylen, kann zum Beispiel durch Wärmeaustausch mit Primärenergie aus Prozessdämpfen oder erwärmten Prozessflüssigkeiten und/oder Wärmespeichern verdampft werden. Die Absorption, bei der erfindungsgemäß die anfallende Absorptionswärme auf die zweite dampfförmig verbleibende Komponente übertragen wird, wodurch sich diese Komponente auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des azeotropen Gemisches erwärmt, kann in und/oder nach der Entspannungsvorrichtung erfolgen. Einer der wesentlichen Vorteile ist hierbei, dass durch die Entspannung des azeotropen Gemisches mechanische Energie im Generator „gewonnen“ werden kann und gleichzeitig das entspannte Arbeitsmittel, das im Entspannungsprozess bereits „Arbeit“ geleistet hat, durch die Trennung (Absorption) der

- 4 -

ersten von der zweiten Komponente sich aufgrund der freiwerdenden Absorptionswärme erwärmt. Hierbei kann das verbleibende Arbeitsmittel nach der Entspannung zurückgeführt werden, um beispielsweise in einem Wärmetauscher seine Wärme abzugeben. Zum Beispiel ist es in einer Ausgestaltung der Erfindung möglich, dass das verbleibende Arbeitsmittel (nur zweite Komponente) in einen Wärmetauscher (Verdampfer) geleitet wird, in dem das verbleibende Arbeitsmittel kondensiert und aufgrund der entstehenden Kondensationswärme das flüssige Arbeitsmittel mit der ersten und der zweiten Komponente verdampft und anschließend wieder in die Entspannungsvorrichtung geführt wird. Hierdurch kann erfindungsgemäß der Wirkungsgrad des Verfahrens zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie wesentlich verbessert werden.

Das Arbeitsmittel ist vorzugsweise durch ein azeotropes Gemisch mit Siedepunktminimum oder nahezu azeotropes Gemisch gebildet. Im folgenden wird die Erfindung mit einem azeotropen Gemisch beschrieben, selbstverständlich kann die Erfindung ebenfalls auf nahezu azeotrope Gemische beziehungsweise auf nicht azeotrope Gemische bezogen werden. Hohe Wirkungsgrade lassen sich besonders mit einem azeotropen oder einem nahezu azeotropen Gemisch erzielen. Bei einem Einsatz eines azeotropen Gemisches können je nach Typ die Verdampfungstemperaturen abgesenkt werden, so dass diese unter den Verdampfungstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Arbeitsmittel eine geringe volumenspezifische beziehungsweise geringe molare Verdampfungsenthalpie auf. Damit wird erreicht, dass mit einer vorgegebenen Menge an Wärmeenergie eine große Menge an Treibdampf erzeugt wird.

Vorzugsweise ist das Arbeitsmittel ein Lösemittelgemisch, das organische und/oder anorganische Lösemittelkomponenten aufweist. Beispiele hierfür sind etwa Gemische aus

Wasser und ausgewählten Silikonen. Vorteilhafterweise kann mindestens eine Komponente ein protisches Lösemittel sein.

Bei einer alternativen Ausführungsform ist das Absorptionsmittel ein reversibles immobilisierbares Lösemittel, das in dem nicht-immobilisierten Aggregatzustand die erste Komponente des Arbeitsmittels ist. Das reversible Lösemittel im siedenden Arbeitsmittel kann sich vorteilhafterweise durch physikalisch-chemische Veränderungen so verändern, in dem es durch Ionisieren oder Komplexbildung aus der Dampfphase von dem nicht-immobilisierten Zustand in den reversibel immobilisierten Zustand verändert werden kann und in der nicht-immobilisierten Form als Absorptionsmittel für das Arbeitsmittel wirkt. Somit enthält das dampfförmige Arbeitsmittel vor der Entspannung bereits das Absorptionsmittel (im nicht-immobilisierten Zustand). Das reversibel immobilisierte Lösemittel ist in einem dampfförmigen Aggregatzustand und geht durch physikalisch-chemische Veränderungen – wie zum Beispiel pH-Verschiebung, Veränderung des Molenbruches und der Temperatur in seiner Flüchtigkeit und/oder in seinem Dampfdruck - in den flüssigen Zustand über (vergleichbar mit Dampf als Lösemittel in nicht-immobilisierter Form und Wasser als reversibel immobilisierbares Lösemittel). Der Vorteil ist hierbei, dass das Arbeitsmittel aus zwei Komponenten besteht, wobei gleichzeitig die eine Komponente im reversiblen immobilisierten Zustand als Absorptionsmittel für die andere Komponente wirkt. Als pH-abhängige reversibel immobilisierbare Lösemittel können beispielsweise zyklische Stickstoffverbindungen - wie Pyridine – eingesetzt werden.

Die Absorption der ersten Komponente kann beispielsweise bereits in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung erfolgen. Des Weiteren ist es selbstverständlich möglich, dass eine Absorptionsvorrichtung, zum Beispiel als Wäscher ausgeführt, der der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung nachgeschaltet ist. In einer möglichen Ausgestaltung kann in der Absorptionsvorrichtung die Ionisierung des reversibel immobilisierbaren Lösemittels durch eine Elektrolyse oder durch ein Zusetzen von Elektrolyten erfolgen, wodurch das Lösemittel

- 6 -

in seiner immobilisierten Form als Absorptionsmittel aus dem Arbeitsmittel entsteht. Gleichzeitig werden die das Absorptionsmittel durchströmenden Dämpfe des Arbeitsmittels ebenfalls ionisiert, so dass der Dampfdruck so abgesenkt wird, dass sich der Dampf der reversiblen immobilisierbaren Komponente im Arbeitsmittel niederschlägt. Das azeotrope Arbeitsmittel wird somit durch das Absorptionsmittel geführt, das die erste Komponente aufnimmt (absorbiert), wobei die frei werdende Absorptionsenergie auf die dampfförmige verbleibende zweite Komponente übergeht. Das Absorptionsmittel kann anschließend wieder zurück in den Verdampfer geleitet werden, wo es beispielsweise durch Deionisation in einen nicht-ionischen Zustand überführt wird und mit der kondensierten Phase der verbleibenden zweiten Komponente als azeotropes Gemisch wieder verdampft wird.

Zweckmäßigerweise ist das Molverhältnis des Arbeitsmittels derart gewählt, dass der Druck in der Entspannung durch die Reduzierung der Anzahl der in der Gasphase verbleibenden Moleküle abnimmt, als der Druck durch die Erwärmung des verbleibenden Gases zunimmt, damit der Aufbau eines sonst resultierenden Gegendruckes nach der Entspannungsvorrichtung vermieden wird.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform wird das entspannte dampfförmige Arbeitsmittel mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des Arbeitsmittels transformiert. Diese Energierückführung kann hierbei über ein einkomponentiges Arbeitsmittel realisiert werden. Dazu wird die Wärmepumpe mit einem flüssigkeitsüberlagerten Verdichtersystem, beispielsweise einer Flüssigkeitsringpumpe oder einem Schraubenverdichter, betrieben und für den Betrieb der Wärmepumpe eine Betriebsflüssigkeit verwendet, deren molare Verdampfungsenthalpie ein Mehrfaches, vorzugsweise mehr als das Vierfache, besonders bevorzugt mehr als das Fünffache der Verdampfungsenthalpie des Arbeitsmittels für die Entspannung beträgt. Erfindungsgemäß wird dadurch ein Überschuss der Energierückführung über die Antriebsenergie der Wärmepumpe erreicht.

- 7 -

Als Niederdruck-Entspannungsvorrichtung kann eine Vorrichtung verwendet werden, bei der weder die Masse des Dampfes noch das Druckverhältnis, sondern allein die Druckdifferenz relevant ist.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung als Wälzkolbengebläse - als Rootsgebläse – oder in Form von Ovalradpumpen ausgeführt. Vorteilhaft ist, dass das Wälzkolbengebläse als Entspannungsvorrichtungen (Entspannungsmotoren) schon mit einer Druckdifferenz von 500 mbar mit einem vollen Wirkungsgrad arbeiten können und in einem geschlossenen System bei Drücken von 10 bis 0,5 bar eingesetzt werden kann. Erfindungsgemäß kann das Wälzkolbengebläse mit mindestens einer Einspritzöffnung ausgeführt sein, durch die das Absorptionsmittel und/oder ein protisches Lösemittel in das Wälzkolbengebläse einbringbar ist. Vorteilhafterweise erfolgt eine druckgesteuerte Einspritzung zur Verhinderung von Flüssigkeitsschäden. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei den genannten Entspannungsvorrichtungen nur die Druckdifferenz und nicht die Masse oder das Entspannungsverhältnis für den Wirkungsgrad maßgebend ist.

Zweckmäßigerweise weist das Wälzkolbengebläse eine gasdichte Dichtung zwischen Schöpfraum und Getrieberaum auf, wobei in einer weiteren Ausführungsform das Wälzkolbengebläse mehrflügelige Rotoren umfasst.

Das Wälzkolbengebläse weist ferner eine Welle auf, die mit dem Generator verbunden werden kann, wodurch die mechanische in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Die Verwendung von einem Wälzkolbenmotor als Niederdruckentspannungsvorrichtung eröffnet - insbesondere bei der Nutzung von Abwärme mit einer Temperatur von weniger als ungefähr 100°C für den Antrieb von beispielsweise Pumpen oder Generatoren - die Möglichkeit, zum einen den Prozess durch Einspritzung von Absorptionsmitteln zu

- 8 -

unterstützen, und zum anderen wegen der geringen Druck- und Temperaturdifferenzen die Kondensationsenergie des Arbeitsmittels, beispielsweise mit einer Wärmepumpe, wieder auf ein erhöhtes Temperaturniveau zu heben.

Bei einer weiteren Ausführung der Erfindung kann eine Trennanordnung vorgesehen sein, die die absorbierte erste Komponente vom Absorptionsmittel trennt. Die Trennanordnung kann beispielsweise als Membransystem ausgebildet sein, das der Absorptionsvorrichtung nachgeschaltet ist. Die desorbierte flüssige, erste Komponente wird zweckmäßigerweise zurück in den Verdampfer geleitet, in dem sie mit der zweiten flüssigen Komponente zusammen als azeotropes Arbeitsmittel verdampft. Das Absorptionsmittel kann zum Beispiel zur Entspannungsvorrichtung geführt werden, in der es in das sich entspannende Arbeitsmittel eingespritzt wird. In einer weiteren Alternative kann das Absorptionsmittel in den Wäscher zurückgeführt werden, in dem die Absorption der ersten Komponente aus dem Arbeitsmittel erfolgt. Als Absorptionsmittel können Öle verwendet werden, aus denen sich die erste Komponente des Arbeitsmittels beispielsweise durch ein Membransystem vollständig wieder austreiben lässt.

Die Trennung der ersten absorbierten Komponente im Absorptionsmittel kann alternativ durch einen Verdampfungsvorgang der absorbierten Komponente durchgeführt werden.

Vorzugsweise wird die nach der Absorptionsvorrichtung verbleibende zweite Komponente, die erfindungsgemäß trotz Entspannung Wärme aufgrund der Absorption der ersten Komponente aufgenommen hat, in einen Wärmetauscher geleitet und kondensiert. Der Wärmetauscher ist vorzugsweise ein Verdampfer, in dem die erste und die zweite Komponente als Arbeitsmittel verdampft werden.

Vorzugsweise ist das Arbeitsmittel ein azeotropes Gemisch aus Wasser und Silikon. Das Wasser ist hierbei die erste, absorbierende Komponente und Silikon die zweite Komponente.

Zweckmäßigerweise ist das Absorptionsmittel ein Silikat. Vorteilhafterweise ist das Absorptionsmittel eine alkalische molekulardisperse Silikatlösung, wobei das in der alkalischen Silikatlösung absorbierte Wasser beispielsweise durch Erhitzen desorbiert wird.

Die Aufgabe der Erfindung wird ebenfalls durch eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie mit den Merkmalen des Anspruches 26 gelöst. In den abhängigen Ansprüchen sind bevorzugte Weiterbildung ausgeführt.

Erfindungsgemäß bezieht sich die Erfindung auf eine Anlage mit einem Verdampfer, in dem ein Arbeitsmittel, das durch ein Gemisch, vorzugsweise ein azeotropes Gemisch, gebildet ist, verdampfbar ist, mit einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung, mit einer Absorptionsvorrichtung, die in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung integriert ist und/oder der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung nachgeschaltet ist, wobei in der Absorptionsvorrichtung eine erste Komponente des Arbeitsmittels durch ein Absorptionsmittel absorbierbar ist und Wärme auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente übertragbar ist, die rückführbar ist.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen:

Fig. 1 eine Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie und

Fig. 2 eine weitere Ausführungsform der Anlage gemäß Fig. 1.

- 10 -

Figur 1 zeigt eine Anlage, in der in einem Verdampfer 6 ein Arbeitsmittel verdampft. Das Arbeitsmittel wird in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung 2 entspannt, wobei hierbei mechanische Energie erzeugt beziehungsweise Arbeit verrichtet wird. Die Entspannungsvorrichtung 2, die bei den Ausführungsbeispielen als Wälzkolbengebläse 2 ausgeführt ist, ist mit einem Generator 1 verbunden und treibt diesen an, so dass elektrische Energie erzeugt wird. Das Arbeitsmittel ist hierbei ein azeotropes Gemisch mit einer ersten und einer zweiten Komponente. Bei dem Arbeitsmittel handelt es sich um ein Lösemittelgemisch, wobei die erste Komponente des Lösemittelgemisches reversibel immobilisierbar ist. Diese Komponente ist in der nicht-immobilisierten Form dampfförmig im Arbeitsmittel enthalten. Das bedeutet, dass diese Anlage mit einem Arbeitsmittel, welches lediglich zwei Komponenten aufweist, betrieben wird, wobei die erste Komponente in immobilisierter Form gleichzeitig das Absorptionsmittel ist.

Das Arbeitsmittel ist beispielsweise ein Gemisch aus Pyridin und Wasser. Der Siedepunkt von Pyridin liegt bei 115° C, von Wasser bei 100° C. Die azeotrope Mischung (Pyridin 57%, Wasser 43%) siedet bei 92,6° C. Pyridin ist in basischer Umgebung nicht-immobilisiert und kann in diesem Zustand verdampft werden, in saurer Umgebung jedoch immobilisiert, d.h. es zeigt keinen Dampfdruck und kann so als Absorptionsmittel genutzt werden.

Das Wälzkolbengebläse 2 ist mit Einspritzöffnungen ausgebildet, so dass während des Betriebes der Anlage das Absorptionsmittel in flüssiger, reversibel immobilisierter Form in das dampfförmige Arbeitsmittel eingebracht wird. Hierbei wird ein Teil der ersten Komponente während des Entspannungsprozesses innerhalb des Wälzkolbengebläses 2 durch das Absorptionsmittel absorbiert. In der nachgeschalteten Absorptionsvorrichtung 3, die als Abscheider ausgeführt ist, erfolgt eine weitere Absorption des entspannten Arbeitsmittels. Die Absorptionsvorrichtung 3, die in einer weiteren Ausführungsform auch als Wäscher ausgebildet sein kann, weist eine Elektrolysevorrichtung 4 auf, die das Niederschlagen des

- 11 -

Dampfes der reversibel immobilisierbaren ersten Komponente im Absorptionsmittel aufrecht erhält.

Besonders vorteilhaft ist, dass das Arbeitsmittel ein azeotrop verdampfendes Gemisch ist, bei der sich je nach Typ die Verdampfungstemperaturen absenken lassen, so dass diese unter den Kondensationstemperaturen der einzelnen Komponenten liegen. Wird die erste Komponente aus dem dampfförmigen Arbeitsmittel adiabat absorbiert, so geht die der Entropieabnahme entsprechende Wärme auf die verbleibende zweite Komponente über. Somit erwärmt sich das verbleibende, entspannte Arbeitsmittel trotz der Entspannung, so dass ein bestimmter Teil der Wärme des dampfförmig verbleibenden Arbeitsmittels in den Verdampfer 6 übertragen werden kann, wodurch der Wirkungsgrad der Anlage wesentlich verbessert werden kann. Die Absorptionsvorrichtung 3 weist gleichzeitig einen Flüssigkeitsabscheider auf, der den verbleibenden Dampf des Arbeitsmittels von der flüssigen absorbierten Komponente trennt.

Das kondensierte, die zweite Komponente aufweisende Arbeitsmittel wird über eine Pumpe 9 in den Verdampfungsraum des Verdampfers 6 zurückgeführt. Über die Pumpe 10 gelangt gleichzeitig die flüssige erste Komponente (in reversibel immobilisierbarer Form) ebenfalls in den Verdampfungsraum des Verdampfers 6, wobei sie durch eine elektrochemische Behandlung 11 wieder in den nicht-ionischen, nicht-immobilisierten Zustand überführt wird und somit mit der kondensierten ersten Komponente wieder verdampft.

Figur 2 zeigt eine weitere Alternative der erfindungsgemäßen Anlage mit einem Verdampfer 6, in dem ein Arbeitsmittel verdampft wird.

Als Arbeitsmittel dient ein Wasser / Silikon-Gemisch in azeotroper Mischung (5% Wasser, 95% Silikon). Der Siedepunkt von Wasser liegt bei 100° C, der Siedepunkt des Silikons liegt bei 110° C. Der Siedepunkt der azeotropen Mischung liegt bei weniger als 80° C. Als Absorptionsmittel für das Wasser wird eine alkalische Silikatlösung verwendet.

- 12 -

Das azeotrope Arbeitsmittel wird in das Wälzkolbengebläse 2 geleitet und entspannt, wobei an der Welle des Wälzkolbengebläses 2 Energie gewonnen wird, die in Verbindung mit einem Generator 1 zur Stromgewinnung genutzt wird. Das Wälzkolbengebläse 2 kann in einer weiteren Ausführungsform Einspritzöffnungen aufweisen, durch die ein Absorptionsmittel eingespritzt wird.

Der Entspannung nachgeschaltet ist eine Absorptionsvorrichtung 3, die als Wäscher 3 ausgeführt ist, in der das dampfförmige Arbeitsmittel von dem Absorptionsmittel getrennt wird. Hierbei wird die erste Komponente durch das Absorptionsmittel absorbiert. Entsprechend dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 1 erwärmt sich durch den Absorptionsvorgang die verbleibende zweite Komponente, die in einem Wärmetauscher 7 innerhalb des Verdampfers 6 kondensiert. Eine Pumpe 9 fördert die flüssige zweite Komponente zurück in den Verdampfer 6. Die durch die Kondensation im Wärmetauscher 7 frei gewordene Wärme kann somit in dem Verdampfer 6 zur Verdampfung des Arbeitsmittels aus der ersten und der zweiten Komponente weiter genutzt werden.

Die absorbierte erste Komponente mit dem Absorptionsmittel wird über eine Pumpe 10 in eine Trennanordnung 5 geleitet, die das Absorptionsmittel durch thermische Desorption von der ersten Komponente trennt. Das Absorptionsmittel wird nach der Trennanordnung 5 in den Wäscher 3 wieder eingespritzt, wobei die flüssige erste Komponente in den Verdampfungsraum 6 geleitet wird. Da das azeotrope Gemisch bei einer geringeren Temperatur siedet als ihre Einzelkomponenten, kann – entsprechend dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 1 - die aufgrund der Kondensation im Wärmetauscher 7 auf den Verdampfer 6 übertragene Wärme in erheblichen Maße beitragen, das Arbeitsmittel zu verdampfen und so den Wirkungsgrad des Gesamtsystems zu verbessern.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|--|
| 1 | Generator |
| 2 | Entspannungsvorrichtung, Wälzkolbengebläse |
| 3 | Absorptionsvorrichtung, Wäscher |
| 4 | Elektrolysevorrichtung |
| 5 | Trennanordnung |
| 6 | Verdampfer |
| 7 | Wärmetauscher |
| 9 | Pumpe |
| 10 | Pumpe |
| 11 | Elektrochemische Behandlung |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie durch Entspannung eines dampfförmigen Arbeitsmittels durch eine mit einem Verdampfer (6) verbundene Entspannungsvorrichtung (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Entspannung in einer Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) erfolgt und die im entspannten dampfförmigen Arbeitsmittel enthaltene Energie in den Verdampfer (6) rückführbar ist, die zur Verdampfung zusätzlichen Arbeitsmittels nutzbar ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste Komponente des Arbeitsmittels, das durch ein Gemisch gebildet ist, in und/oder nach der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) mittels eines Absorptionsmittels absorbiert wird, wobei Wärme auf die verbleibende, dampfförmig zweite Komponente übergeht, die rückführbar ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gemisch bei einem bestimmten Mischungsverhältnis der Komponenten ein Azeotrop mit Siedepunktminimum bildet.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel als azeotropes Gemisch oder als nahezu azeotropes Gemisch vorliegt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die bei der Absorption übergangene Wärme die dampfförmig verbleibende zweite Komponente auf eine Temperatur oberhalb der Siedetemperatur des Gemisches erwärmt wird, wobei die zweite Komponente in einem Wärmetauscher (7) kondensiert wird, wodurch die Verdampfung des Arbeitsmittels erfolgt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das entspannte dampfförmige Arbeitsmittel mit Hilfe einer Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau oberhalb der Siedetemperatur des Arbeitsmittels transformiert wird.

SAM:mg

- 2 -

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmepumpe ein flüssigkeitsüberlagertes Verdichtersystem aufweist.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verdichtersystem als Flüssigkeitsringpumpe oder als flüssigkeitsüberlagerter Schraubenverdichter ausgebildet ist.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verdampfungsenthalpie des Betriebsmittels der Wärmepumpe größer als das Vierfache der Verdampfungsenthalpie des Arbeitsmittels für die Entspannung ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittels eine geringe volumenspezifische Verdampfungsenthalpie aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel ein Lösemittelgemisch ist, das organische und/oder anorganische Lösemittelkomponenten aufweist.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine Komponente ein protisches Lösemittel ist.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorptionsmittel ein reversibel immobilisierbares Lösemittel ist, das in dem nicht-immobilisierten Aggregatzustand die erste Komponente des Arbeitsmittels ist.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) ein Wälzkolbengebläse (2) ist.

- 3 -

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Wälzkolbengebläse (2) mit mindestens einer Einspritzöffnung ausgeführt ist, durch die ein Absorptionsmittel und/oder ein protisches Lösemittel in das Wälzkolbengebläse (2) bringbar ist.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) eine Absorptionsvorrichtung (3) nachgeschaltet ist, in der die erste Komponente absorbiert wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absorptionsvorrichtung (3) als Wäscher (3) ausgebildet ist.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absorptionsvorrichtung (3) eine Elektrolysevorrichtung (4) umfasst.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Trennanordnung (5) die absorbierte erste Komponente vom Absorptionsmittel trennt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennanordnung (5) als Membransystem (5) ausgebildet ist.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Trennung durch Verdampfung der absorbierten ersten Komponente erfolgt.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Verdampfer (6) vor der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) angeordnet ist, der das Arbeitsmittel verdampft.

- 4 -

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Pumpe (10) das Absorptionsmittel in die Trenneinrichtung (5) und anschließend zurück zum Wäscher (3) fördert.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmittel ein azeotropes Gemisch aus Wasser und Silikon ist.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Absorptionsmittel eine Silikatlösung ist.

26. Anlage zur Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Energie, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie folgende Komponenten umfasst:

- a) einen Verdampfer (6), in dem ein Arbeitsmittel, das durch ein Gemisch gebildet ist, verdampfbar ist,
- b) eine Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2),
- c) eine Absorptionsvorrichtung (3), die in der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) integriert ist und/oder der Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) nachgeschaltet ist,
- d) wobei in der Absorptionsvorrichtung (3) eine erste Komponente des Arbeitsmittels durch ein Absorptionsmittel absorbierbar ist und Wärme auf die verbleibende, dampfförmige zweite Komponente übertragbar ist, die rückführbar ist.

27. Anlage nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) ein Wälzkolbengebläse (2) ist.

28. Anlage nach Anspruch 26 oder 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Trennanordnung (5) die absorbierte erste Komponente vom Absorptionsmittel trennt.

- 5 -

29. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Niederdruck-Entspannungsvorrichtung (2) mit einem Generator (1) verbunden ist, der mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt.

30. Anlage nach Anspruch 26 bis 29, die nach einem der genannten Verfahren 1 bis 25 betreibbar ist.

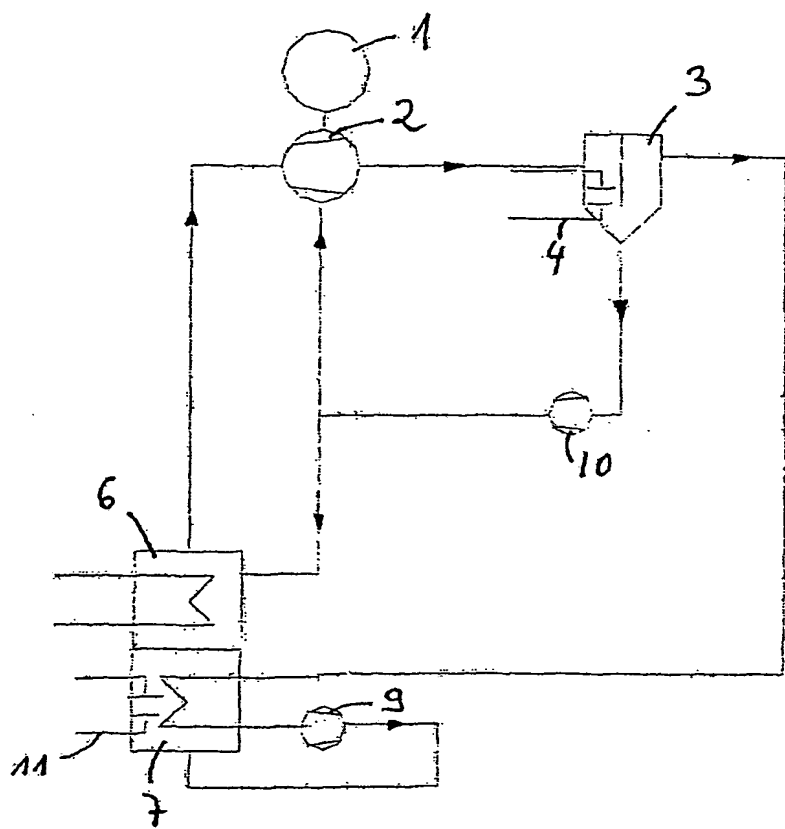


FIG. 1